مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال یازدهم، شماره دوم (پیاپی ۴۱)، تابستان ۹۳، ص ص ۱۳۸-۱۲۵
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی و تابع فاصله جهت‌دار در راستای محاسبه کارایی زیست محیطی (مطالعه صنایع تولید فلزات اساسی ایران)

محمدنبی شهیکی تاش*[1]، غلامعلی رحیمی[2]، مصطفی خواجه حسنی[3]
۱- استادیار، دانشگاه سیستان و بلوچستان، گروه اقتصاد، زاهدان، ایران
۲- پژوهشگر موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، تهران، ایران
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، گروه اقتصاد، زاهدان، ایران

رسید مقاله: ۲۹ آبان ۱۳۹۲
پذیرش مقاله: ۱ اردیبهشت ۱۳۹۳

چکیده

هدف محوری این تحقیق سنجش کارایی فنی و کارایی زیست‌محیطی صنایع تولید فلزات اساسی ایران با استفاده از روش‌های برنامه ریزی ریاضی می‌باشد. صنایع مورد بررسی این تحقیق به ترتیب کدهای ISIC عبارتند از: صنایع تولید فلزات اساسی، تولید محصولات اولیه آهن و فولاد، تولید محصولات اساسی مس، تولید محصولات اساسی آلومینیومی، تولید فلزات گران‌بها و سایر محصولات اساسی به‌جز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم، ریخته گری آهن و فولاد و ریخته گری فلزات غیر آهنی. برای ارزیابی کارایی فنی از رویکرد SBM استفاده شده است. داده‌های این مطالعه حاصل آمارگیری کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر می‌باشد. همچنین برای ارزیابی کارایی زیست‌محیطی علاوه بر داده‌های فوق، از داده‌های هزینه‌های اجتماعی بخش انرژی به تفکیک گاز آلاینده و همچنین میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش صنعت که از بخش انرژی و محیط زیست ترازنامه انرژی ، به‌دست آمده، استفاده شده است. برای اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی از رویکرد تابع فاصله تولید جهت‌دار یا DDOF استفاده گردیده. بر اساس نتایج مطالعه مذکور صنایع تولید محصولات اساسی مس (کد ۲۷۲۱) و تولید محصولات اساسی آلومینیومی (کد ۲۷۲۲) هم از نظر کارایی زیست‌محیطی و کارایی فنی ساده کارآمد هستند. همچنین برخی از صنایع، مانند صنعت تولید محصولات اولیه آهن و فولاد (کد ۲۷۱۰) و تولید فلزات گران‌بها و سایر محصولات اساسی (کد ۲۷۲۳) که از لحاظ فنی کارآمد هستند؛ از لحاظ زیست‌محیطی ناکارا عمل می‌کنند.

کلمات کلیدی: کارایی فنی، کارایی زیست‌محیطی، فلزات اساسی، هزینه‌های اجتماعی، رویکرد SBM، رویکرد DDOF.

* عهده دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: Mohammad_tash@eco.usb.ac.ir

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

۱ مقدمه

مروری بر تاریخ اقتصاد منابع طبیعی و محیط زیست نشان می‌دهد که اقتصاددانان از همان ابتدا نگران محدودیت منابع در جهت مطالعه امکان توسعه‌ای پایدار بوده؛ این مهم به خوبی در مطالعه‌های اقتصاددانان کلاسیک مانند مالتوس(۱۷۶۶)، ریکاردو(۱۷۷۲) و جان استوارت میل(۱۸۰۶) قابل مشاهده می‌باشد. تمام مشکلات مربوط به توسعه پایدار به دلیل عدم کارایی در تخصیص و استفاده بهینه از منابع طبیعی و محیط زیستی است و این ناکارایی به دو دلیل می‌باشد. نخستین دلیل این است که، منابع طبیعی و محیط زیستی غالباً همان مشخصه‌های کالاهای عمومی را دارا هستند. در چنین شرایطی بازارها و قیمت‌های بازاری به ندرت دیده می‌شوند و هرگونه تلاش برای برآورد ارزش اجتماعی آن‌ها نیازمند کسب اطلاعاتی درباره ترجیحات اشخاص و جامعه می‌باشد. دومین دلیل نیز مربوط به اثرات جانبی تولید است. طبق تعریف اثرات جانبی به آثار حقیقی مربوط به مطلوبیت (اقتصاددانان ترجیحات افراد را به عنوان مفهوم ارزش در نظر می‌گیرند) اشاره دارد که این موارد به هیچ وجه در قیمت بازاری مشاهده نمی‌شوند و همین امر عامل رفتار غیر عقلایی جمعی که از رفتار عقلایی فردی در حداکثر کردن مطلوبیت استفاده از منابع رایگان عمومی مانند هوای پاک ناشی شده است؛ می‌شود [۱].

همان‌طور که ذکر گردید استفاده بیش از حد و غیر کارا از منابع طبیعی باعث ایجاد مشکلات و آلودگی‌های زیاد محیط زیست شد، ولی اقتصاددانان این مشکل را بسیار دیر شناسایی کرده؛ به این مهم نپرداختند؛ این مشکلات از مدت‌ها قبل وجود داشتند به‌طوری که فیشر در کتاب خود در سال ۱۹۸۱ می‌گوید" استفاده از زغال سنگ در سال ۱۲۷۳ در لندن ممنوع گردید و یک نفر نیز به خطر تخلف از این قانون در حدود سال ۱۳۰۰ به مرگ محکوم شد. این بی‌توجهی‌ها تا جایی ادامه پیدا کردند که در بعضی از مناطق صنعتی مانند حادثه دهکده میوس در بلژیک در سال ۱۹۳۰ میلادی و رخدادی مشابه، در شهر صنعتی دونورا از شهرهای ایالت پنسیلوانیای آمریکا در سال ۱۹۴۸ و موارد مشابه دیگر بسیار سخت شد و در اثر آن بسیاری بیمار و کشته شدند. پس از این رخدادها اهمیت مبارزه با این چالش بزرگ بر همگان آشکار گشت به‌طوری که بر پایی نخستین کنفرانس سازمان ملل در مورد محیط زیست انسانی در استکهلم (۱۹۷۲) توجّه جهانی را به خود جلب کرد و از دستاوردهای آن، بیانیه محیط زیست انسانی است که نخستین بیانیه مشترک ۱۱۳ کشور درباره توجّه و تعهّد آن‌ها به حفاظت از محیط زیست است. برپایی این کنفرانس، تأسیس نهادی را به نام برنامه محیط زیست سازمان ملل (یونپ) سبب شد. یونپ، همه ساله در روز جهانی محیط زیست، ضمن بیانیه‌هایی، روند حفاظت و مدیریت محیط زیست را بررسی می‌کند. در سال ۱۹۹۱، از سوی کنفرانس محیط زیست و توسعه سازمان ملل، اجلاسی در لاهه تشکیل و راهکارهایی به منظور دست‌یابی و استمرار توسعه پایدار ارایه شد. در سال ۱۹۹۲ اجلاس زمین در ریودوژانیروی برزیل، با حضور نمایندگان ۱۷۶ کشور، ده‌ها سازمان بین‌المللی، ۳۵ سازمان منطقه‌ای و بیش از ۱۵۰۰ سازمان غیر دولتی تشکیل گردید. مهمترین مصوّبه این اجلاس «دستور کار ۲۲» یا «اعلامیه ریو» است که با تصویب مجمع عمومی سازمان ملل، به صورت دستور کار سازمان ملل در قرن ۲۱ عنوان و مقرر شد منابع باید تحت نظارت و محافظت دقیق قرار گیرند. در سال ۱۹۹۷، به منظور ارزیابی میزان پیشرفت‌های اجرایی دستور کار ۲۱، اجلاسی از سوی سازمان ملل تشکیل گردید که اجلاس «زمین + ۵» نام گرفت [۳،۲].

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

پس از توجه اقتصاددانان به این موضوع مطالعاتی جهت ارزیابی میزان آلایندگی و تخمین هزینه‌های آلایندگی برای استفاده کارا از منابع طبیعی و زیست‌محیطی صورت پذیرفت و نخستین کسی که به‌طور نظام‌مند به تحلیل اقتصادی مساله آلودگی پرداخته پیگو بوده است. پیگو، دانشمند انگلیسی در سال ۱۹۲۰ میلادی نظریه‌ای ارایه کرد که بر اساس آن منبع آلوده‌کننده باید بر اساس مقدار نهایی خسارتی که به محیط زیست وارد می‌کند؛ مالیات بپردازد. مالیات بر آلودگی نفع شخصی آلوده کننده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بدیهی است که حفظ منافع شخصی، آلوده‌کننده را وادار می‌سازد تا راه‌هایی برای کاهش پرداخت‌های مالیاتی خود بیابد. از این رو، بنگاه آلوده‌کننده به منظور کاهش میزان مالیات، مقدار تولید خود را کاهش می‌دهد و این امر منجر به کاهش هزینه‌های اجتماعی ناشی از آلودگی نیز می‌شود. در نظریه پیگو مالیات باید با هزینه نهایی آلودگی بر هر واحد تولید برابر باشد، در نتیجه آن بنگاه با کاهش در سطح تولید به سطح کارآمد تولید یا تخصیص بهینه منابع دست می‌یابد. اگر نرخ مالیات یکسان نباشد و آلوده‌کنندگان با نرخ‌های مالیاتی مختلف مواجه باشند؛ بنگاه‌ها هزینه‌ها را از طریق انتقال فعالیت‌های اقتصادی از یک بخش با نرخ مالیات بالاتر به بخش دیگر با نرخ مالیات پایین‌تر کاهش می‌دهند. از آنجا که استفاده از وسایل کنترل آلودگی هزینه دارد؛ واحدهای اقتصادی باید هزینه وسایل کنترلی و مالیات پرداختی را با یکدیگر مقایسه کنند. با کنترل و کاهش میزان آلودگی، میزان مالیات پرداختی کاهش خواهد یافت [۴،۱].

از این رو با توجه به اهمیت کارایی فنی و کارایی زیست محیطی در تخصیص بهینه منابع محدود، هدف محوری این مقاله سنجش ضریب کارایی فنی و کارایی زیست محیطی در صنایع انرژی بر ایران با استفاده از روش‌های برنامه ریزی خطی می‌باشد.

۲ پیشینه تحقیق

برای نخستین بار ستانده ناخواسته به وسیله پیت‌من [۵] مورد توجه قرار گرفت. پس از آن مدل‌ها و مطالعات پیچیده و گسترده‌ای در جهت محاسبه میزان ناکارآمدی تولید ناشی از ستانده ناخواسته و تخمین قیمت سایه‌ای آن توسط اقتصاددانان محیط زیست صورت پذیرفت. یکی از راهکارهای ابتدایی برای محاسبه ناکارآمدی زیست‌محیطی که از نخستین گام‌ها مورد توجه قرار گرفت رویکرد تحلیل پوششی داده‌هاست. اما برای محاسبه ناکارآمدی با این روش چالش‌های زیادی وجود داشت و دلیل آن به نحوه رفتار آلاینده در تابع تولید باز می‌گشت. در سال ۱۹۸۹ میلادی فار و همکاران [۶] تبادل بین کیفیت زیست‌محیطی و توسعه اقتصادی را به وسیله رویکرد توابع فاصله ناپارامتریک ترسیم نمودند. پس از آن‌ها چمبرز و همکاران [۷]، با ایده گرفتن از تابع فایده در زمینه تئوری مصرف‌کننده و تابع کمبود در تئوری تولید کننده، یک تکنیک محاسبه کارایی فنی جمع‌پذیر را ارایه دادند. این تکنیک که به صورت مدل DDOF یا تابع فاصله ستانده جهت‌دار شناخته می‌شود؛ اجازه می‌دهد که به‌طور همزمان به مقادیر ستانده اضافه و از مقادیر نهاده کاسته شود. چونگ [۸]، در رساله دکترای خود با عنوان "تابع فاصله جهت‌دار و ستانده نامطلوب" از این تابع برای محاسبه کارایی فنی زیست-محیطی استفاده نمود. با استفاده از این رویکرد او توانست با افزایش ستانده خواسته، امکان کاهش ستانده

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

ناخواسته را فراهم آورد. تا به حال از این رویکرد برای محاسبه کارایی زیست‌محیطی بسیاری از مطالعات استفاده شده است. از مهمترین مطالعات خارجی و داخلی که در این زمینه انجام شده است؛ می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود.

۲-۱ مطالعات خارجی

کوان و یان [۹]، به وسیله تابع فاصله ستانده و با استفاده از دوگان آن، طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵، کارایی زیست‌محیطی و هزینه‌های نهایی کاهش آلایندگی نیروگاه‌های برق سوخت سنگین (روغن‌های بازیافتی) و زغال‌سنگ کشور کره جنوبی را تخمین زده؛ نشان دادند که متوسط هزینه‌های نهایی کاهش آلاینده‌های SO_x به میزان۳۱۰/۶ هزار وان برای هر تن، ۱۴۶/۷ هزار وان برای کاهش هر تن NO_x، ۱۵۴۸/۳ هزار وان برای کاهش هر تن TSP و ۳/۸ هزار وان برای کاهش هر تن CO_2 می‌باشد.

کوان و یان [۱۰]، معتقدند که بخش صنعت در آلوده کردن هوا بیشترین نقش را داشته؛ حجم وسیعی از آلاینده‌های هوا (شامل دی اکسید سولفور، اکسیدهای نیتروژن، ذرات معلق، منو اکسید کربن و هیدرو کربن‌ها) که به عنوان ستانده بد و یا محصول ناخواسته لحاظ می‌شوند؛ از این بخش منتشر گردند. آن‌ها معتقدند که هزینه‌های نهایی انتشار یافته هر تن سولفور، اکسید نیتروژن، ذرات معلق هوا و دی اکسید کربن بسته به طرح‌های زیست‌محیطی مختلف، متفاوت هستند و قواعد زیست محیطی کنونی، شرایط لازم را جهت حداقل کردن هزینه‌های اجتماعی ایجاد نمی‌کند.

مورتی، کومار و پائول [۱۱]، تابع فاصله نهاده را تحت فرض جای‌گزینی قوی و ضعیف نهاده‌های ناخواسته برای صنعت قند و شکر کشور هند تخمین زده؛ به وسیله آن قیمت‌های سایه‌ای انواع آلاینده‌های آب و میزان مالیات مناسب و استاندارد برای تولید این آلاینده‌ها و میزان کارایی و بهره‌وری سبز تولید را به وسیله شاخص مالم کوئیست به دست آوردند.

مورتی و همکاران[۱۲]، به وسیله رویکرد تابع فاصله ستانده جهت‌دار، کارایی فنی زیست‌محیطی و قیمت‌های سایه‌ای ستانده ناخواسته و همچنین کشش جانشینی بین ستانده خواسته و ناخواسته ایالاتی از کشور هند را که برای تولید از سوخت زغال سنگ استفاده می‌کردند طی سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۹۶ مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه گویای آن است که ناکارآمدی زیست‌محیطی نیروگاه‌های ایالت آندرا پرداش برابر با ۰/۰۶ شده است و این رقم گویای آن می‌باشد که این نیروگاه می‌تواند با کاهش تولید ۶ درصد آلایندگی تولید برق خود را به میزان ۶ درصد افزایش دهد.

۲-۲ مطالعات داخلی

دریجانی و همکاران [۱۳]، در مطالعه خود با استفاده از تابع فاصله نرمال شده به برآورد کارایی زیست‌محیطی کشتارگاه‌های استان تهران (۱۳۸۲) با استفاده از تحلیل مرزی تصادفی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که اکثر کشتارگاه‌ها به لحاظ زیست‌محیطی کارا نیستند و متوسط کارایی زیست‌محیطی و به‌کارگیری منابع به ترتیب

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

۵۷/۷۴ و ۵۲/۷۵ درصد است؛ در حالی که ارتقای عملکرد زیست‌محیطی با فناوری‌های موجود امکان‌پذیر می‌باشد. همچنین مقادیر کارایی بهتر بودن وضعیت کشتارگاه‌های مکانیزه واحدهای غیر دولتی و سیستم‌های تصفیه بیولوژیک را نسبت به واحدهای سنتی و دولتی تایید می‌کند.

نصراللهی و همکاران [۱۴]، به وسیله رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها و با تاکید بر ستانده‌های نامطلوب به اندازه‌گیری کارایی صنایع تولیدی ایران طی برنامه سوم و دو سال اول برنامه چهارم توسعه جمهوری اسلامی ایران ۱۳۸۵-۱۳۷۹ پرداخته؛ در مدل خود آلاینده‌های زیست‌محیطی So_2 و Co_2 و SPM را به عنوان خروجی نامطلوب در نظر گرفتند. نتایج این مطالعه گویای آن است که در تمامی سال‌های مورد بررسی تنها صنعت کد ۳۲ کارا بوده. همچنین در تمام سال‌های برنامه از میان بیست و یک صنعت مورد بررسی همواره بیش از هفده صنعت ناکارا می‌باشد. به عبارت دیگر تنها بیست درصد از واحدها کارا بوده و از منابع خود به درستی استفاده نموده‌اند.

آماده و رضایی [۱۵]، در مطالعه خود به اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی با استفاده از مدل کارایی سراسری ستانده مطلوب و نامطلوب تفکیک ناپذیر سراسری در بخش تولید انرژی الکتریکی شرکت‌های برق منطقه‌ای طی دوره زمانی ۱۳۸۸-۱۳۸۳ پرداخته؛ نتایج حاصل شده از مطالعه آن‌ها حاکی از آن است که در بین شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان و خراسان، هم از نظر کارایی معمولی و هم از نظر کارایی زیست‌محیطی عملکرد ضعیفی دارند. همچنین شرکت منطقه‌ای خوزستان برخلاف کارایی معمولی بالا، کارایی زیست محیطی اندکی دارد.

۳ اندازه گیری کارایی فنی با استفاده از رویکرد (SBM)

رویکرد SBM که با نام‌های اندازه آزاد و یا واحدهای ثابت نیز شناخته می‌شود؛ به وسیله تون [۱۶] معرفی شده و مهمترین خصوصیت این مدل آن است که نسبت به تغییر واحد پایدار است [۱۷].

این رویکرد دارای خواص زیر است:

۱- فرض واحدهای ثابت: در این مدل مقادیر نهاده و ستانده نسبت به تغییر واحدها ثابت است.

۲- فرض یکنواختی: مقادیر دارای کاهش یکنواخت برای هر مازاد نهاده‌ها و کمبود ستانده‌ها.

به منظور اندازه‌گیری کارایی بنگاه‌ها با رویکرد SBM مدل کسری و غیر خطی رابطه‌ی شماره (۱) ارایه شده است.

$$Min \quad \rho = \frac{1 - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{s}\sum_{r}^{s}\frac{s_r^+}{y_{ro}}} \qquad (SBM) \qquad (1)$$

$$s.t.$$

$$x_o = X\lambda + s^-$$

$$y_o = Y\lambda + s^+$$

$$\lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0$$

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

در مدل فوق فرض می‌کنیم که $X \geq 0$ است و در صورتی که $x_{io} = 0$ شود آن‌گاه ما $\frac{S_i^-}{x_{io}}$ را از تابع هدف خارج خواهیم نمود. در صورتی که $y_{ro} \leq 0$ شود، آن‌گاه ما آن را با یک عدد مثبت بسیار کوچک جای‌گزین خواهیم نمود، و در نتیجه عبارت $\frac{S_i^+}{y_{ro}}$ در تابع هدف نقش جریمه خواهد داشت. در این مدل بنگاهی کارا خواهد بود که تنها مقدار تابع هدف آن برابر با یک باشد ($\rho = 1$) و در این صورت متغیرهای مازاد و کمبود نهاده‌ها و ستانده‌ها برابر صفر خواهند بود.

٤ اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی با رویکرد تابع فاصله تولید جهت‌دار

برای محاسبه کارایی زیست‌محیطی روابط میان متغیرهای مدل به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$P(x)$ تابعی از نهاده x با دامنه $x \in R_+^N$ است. همچنین نهاده x تولید کننده مجموعه‌ای از ستانده‌ها که عبارتند از ستانده ناخواسته با برد $u \in R_+^K$ و ستانده خواسته یا مطلوب با برد $v \in R_+^M$ می‌باشد. برای محاسبه مقدار کارایی زیست‌محیطی به وسیله تابع فاصله که در سال ۱۹۷۰ توسط شفارد معرفی شد باید فروضی را در نظر گرفت [۱۸].

این فروض عبارتند از:

۱- $(u,v) \in P(x)$ ، در صورتی که $0 \leq \theta \leq 1$ آنگاه $(\theta v, \theta u) \in P(x)$. این شرط نشان می‌دهد که کاهش ستاده نامطلوب با کاهش ستاده مطلوب همراه بوده و در نتیجه این عمل هزینه‌بر خواهد بود.

۲- امکان اینکه ستانده‌ای با مصرف مقادیر مختلفی از نهاده x تولید نشود وجود دارد:

$0 \in P(x) \forall x \in R_+^N$

۳- $(u,v) \in P(x)$، در صورتی که $u = 0$ آنگاه $v = 0$. بردار ستانده مطلوب و نامطلوب در مبدأ به صورت پیوسته است.

۴- داده‌ها قابل کنترل بوده؛ تولید کننده برای کاهش یا افزایش نهاده محدودیت ندارد.

$P(x) \subseteq P(x'), if \rightarrow x' \geq x$

۵- ستانده مطلوب قابل کنترل است.

$(v,u) \in P(x) \ and \ v' \leq v \Rightarrow (v',u) \in P(x)$

۶- فرض نا پیوستگی با اعمال قید زیر تفکیک‌پذیری ضعیف ستانده‌های مطلوب و نامطلوب را تأمین می‌کند.

$$\sum_{k=1}^{K} u_{kj} > 0, \ j = 1,\ldots, J,$$

$$\sum_{j=1}^{J} u_{kj} > 0, \ j = 1,\ldots, K.$$

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

فرض تفکیک‌پذیری ضعیف نیز گویای آن است که با کاهش ستانده نامطلوب دچار هزینه خواهیم شد و این به این معنی است که کاهش ستانده نامطلوب تنها با کاهش ستانده مطلوب امکان‌پذیر خواهد بود. فرض شماره سه نیز گویای آن است که ستانده نامطلوب محصول جانبی ستانده مطلوب در روند تولید است.

برای اندازه‌گیری میزان کارایی می‌توانیم از چهارچوب تحلیل پوششی داده‌ها به صورت زیر استفاده نماییم.

در صورتی که مشاهدات را (تعداد بنگاه‌های مورد بررسی) $k = ۱,۲,...,K$ در نظر بگیریم؛ ستانده زیست‌محیطی را به صورت رابطه‌ی شماره (۲) می‌توان فرمول‌بندی نمود:

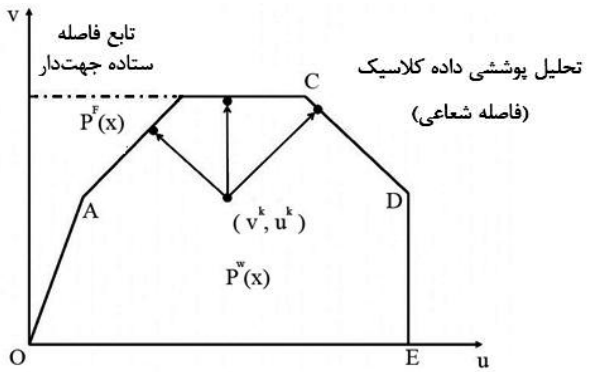
$$P(x)=\Big\{(v,u): \sum_{k=۱}^{K} \omega_k v_{km} \geq v_m, m=۱,۲,...,M,$$
$$\sum_{k=۱}^{K} \omega_k u_{kj} = u_j, j=۱,...,J,$$
$$\sum_{k=۱}^{K} \omega_k x_{kn} \leq x_n, n=۱,...,N,$$
$$\omega_k \geq 0, k=۱,...,K\Big\} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق $\omega_k, k=۱,...,K$ حاکی از شدت متغیرهای نامنفی و بازگشت ثابت نسبت به مقیاس می‌باشد. همچنین قید نابرابری ستانده مطلوب و برابری ستانده نامطلوب به ما کمک می‌کنند که مدل خود را به دفع ضعیف و یا قابلیت کنترل ضعیف ستانده نامطلوب محدود کنیم.

با توجه به فرضی که ذکر شد؛ چونگ و همکاران [۸]، مدلی را به نام تابع فاصله ستانده جهت‌دار ارایه نمودند. این رویکرد قادر است که همراه با کاهش ستانده نامطلوب ستانده مطلوب را افزایش دهد. بردار جهت‌دار به صورت $g=(g_v,-g_u)$ نشان می‌دهند و در این بردار $g_v=۱$ و $-g_u=۱$ برقرار است.

در نتیجه میزان کارایی زیست‌محیطی بنگاه k' به وسیله رویکرد تابع فاصله ستانده جهت‌دار و به صورت رابطه‌ی شماره‌ی (۳) مدل‌سازی و به صورت نمودار شماره‌ی (۱) نمایش داده می‌شود.

$$D(x^{k'},v^{k'},u^{k'};g)=\max \beta$$
$$s.t.(v^{k'}+\beta g_v, u^{k'}-\beta g_u)\in P(x) \qquad (۳)$$



شکل ۱. کارایی زیست‌محیطی بنگاه به وسیله رویکرد تابع فاصله ستانده جهت‌دار

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

رابطه‌ی شماره‌ی (۳) به وسیله یک مدل برنامه‌ریزی خطی به صورت رابطه‌ی شماره‌ی (۴) قابل حل خواهد بود.

$$
\begin{aligned}
&D(x^{k'}, v^{k'}, u^{k'}; g) = \max \beta \\
&s.t. \\
&\sum_{k=1}^{K} \omega_k v_{km} \geq v_{k'm} + \beta g_{vm}, \quad m = 1,\ldots,M, \\
&\sum_{k=1}^{K} \omega_k u_{kj} = u_{k'j} - \beta g_{uj}, \quad j = 1,\ldots,J, \\
&\sum_{k=1}^{K} \omega_k x_{kn} \leq x_{k'n}, \quad n = 1,\ldots,N, \\
&\sum_{k=1}^{K} \omega_k = 1 \\
&\omega_k \geq 0, \quad k = 1,\ldots,K.
\end{aligned}
\tag{۴}
$$

در صورتی که $D(x^{k'}, v^{k'}, u^{k'}; g) = 0$ شود بنگاه به صورت کارا فعالیت کرده؛ در غیر این صورت $D(x^{k'}, v^{k'}, u^{k'}; g) > 0$ بنگاه از لحاظ زیست‌محیطی ناکارا عمل می‌کند. در حقیقت ما از مقدار کارایی زیست‌محیطی که در مرحله دوم به دست می‌آید؛ استفاده می‌کنیم. آنچه که تا به حال گفته شد ($D(x^{k'}, v^{k'}, u^{k'}; g) = 0$) از تابع فاصله ستانده شفارد به دست آمده بود اما همان‌طور که چونگ و همکاران عنوان نمودند؛ تابع فاصله ستانده شفارد یک شکل خاص از تابع فاصله ستانده جهت‌دار است و مقدار عددی استاندارد شده کارایی زیست‌محیطی به صورت رابطه‌ی شماره‌ی (۵) به‌دست می‌آید [۱۸].

$$
D(x, v, u) = \frac{1}{\left(1 + D(x^{k'}, v^{k'}, u^{k'}; g)\right)} \tag{۵}
$$

با توجه به رابطه‌ی شماره‌ی (۵) در صورتی که $D(x^{k'}, v^{k'}, u^{k'}; g) = 1$ شود بنگاه از نظر زیست‌محیطی کارا عمل و در غیر این صورت $D(x^{k'}, v^{k'}, u^{k'}; g) < 1$ ناکارآمد عمل می‌کند.

۵ تجزیه و تحلیل داده‌ها

آلودگی زیست‌محیطی و پدیده تغییر اقلیم و همچنین تجدید ناپذیری حامل‌های انرژی فسیلی که از چالش‌های اصلی استفاده از این منابع کمیاب و ارزشمند به شمار می‌روند؛ در اثر توسعه ناپایدار، الگوهای نادرست مصرف انرژی و افزایش جمعیت و ... در سال‌های اخیر با شدت بیشتری ادامه داشته و هزینه‌های اجتماعی بسیاری را به جامعه متحمل ساخته است. جهت محاسبه هزینه‌های اجتماعی که بتوان به وسیله آن صدمات ناشی از انتشار مواد آلاینده و گازهای گلخانه‌ای را جبران کرد؛ نیاز به کمی کردن اثر آلاینده‌ها و فعالیت‌ها در محیط‌های اثر پذیر

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

(انسانی و طبیعی) است. هزینه‌های اجتماعی تخریب زیست‌محیط در اثر مصرف حامل‌های انرژی فسیلی در کشور برای گازهای NO_x، SO_2، CO_2، CO، CH_4، و SMP در جدول شماره‌ی (۱) درج شده‌اند.

جدول ۱. هزینه‌های اجتماعی بخش انرژی به تفکیک گاز آلاینده / گلخانه‌ای (هزار ریال بر تن)

نوع گاز	NO_x	SO_2	SO_3	CO	SPM	CO_2	CH_4	N_2O
مقدار هزینه	۴۸۰۰	۱۴۶۰۰	□	۱۵۰۰	۳۴۴۰۰	۸۰	۱۶۸۰	□

منبع: ترازنامه انرژی / بر اساس مطالعه بانک جهانی و سازمان محیط زیست □ ارقام در دسترس نیستند.

هزینه‌های کل اجتماعی بخش‌های مصرف کننده حامل‌های انرژی کشور برابر با **۹۲۱۹۵** میلیارد ریال (سال پایه **۱۳۸۱**) برآورد شده که **۱۳/۸۲** درصد این مقدار مربوط به بخش صنعت است. شایان ذکر است که روند تغییرات انتشار آلاینده‌های گلخانه‌ای بخش صنعت در سال‌های اخیر بسیار پر شتاب می‌باشد و این مهم ضرورت برنامه‌ریزی مناسب و تقلیل آثار سوء ناشی از مصرف انواع حامل‌های انرژی و توجه به میزان انتشار انواع آلودگی‌ها را در این بخش ضروری می‌سازد. جدول‌های شماره‌ی (۲) و (۳) به ترتیب گویای مقادر سوخت مورد استفاده در بخش صنعت و میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش صنعت هستند. همان‌طور که در جدول شماره‌ی (۲) مشخص است در بخش صنعت بیشترین میزان انتشار NO_x و CO_2 ناشی از مصرف گاز طبیعی بوده و بیشترین میزان انتشار SO_2 ناشی از مصرف نفت کوره است[۱۹].

جدول ۲. میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش صنعت (تن)

نوع سوخت	NO_x	SO_2	SO_3	CO	SPM	CO_2	CH_4	N_2O
بنزین	۷۱۹	۸۰	–	۱۸۶۵۲	۶۹	۱۲۶۷۸۳	۵	۱
نفت سفید	۴۸	۲۳۰	–	۷۵	–	۲۴۹۹۵۵	۱۰	۲
نفت گاز	۱۵۵۱۴	۴۸۷۱۵	۶۲۱	۶۲۱	۴۶۵۴	۸۷۴۲۸۸۲	۳۵۴	۷۱
نفت کوره	۶۲۶۴۷	۲۹۴۰۳۴	۴۴۹۲	۲۳	۶۲۶۵	۲۰۲۲۹۶۵۶	۷۸۴	۱۵۷
گاز مایع	۵۳۴	۲	–	۳۵۴	–	۸۱۶۷۸۷	۱۳	۱
گاز طبیعی	۷۶۶۰۳	۱۵۷	–	۳۰۴۳	۶۴۴۳	۴۸۳۸۳۶۲۲	۸۶۲	۸۶

منبع: ترازنامه انرژی وزارت نیرو

جدول ۳. میزان مصرف حامل‌های انرژی بخش صنعت

بنزین (هزار لیتر)	۵۳۲۸۵
نفت سفید (هزار لیتر)	۹۵۹۸۷
نفت گاز(هزار لیتر)	۳۱۰۲۸۵۹
نفت کوره(هزار لیتر)	۶۲۶۴۷۱۳
گاز مایع (تن)	۲۶۶۴۵۰
گاز طبیعی (میلیون متر مکعب)	۱۵۰۸۷/۴

منبع: ترازنامه انرژی وزارت نیرو

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

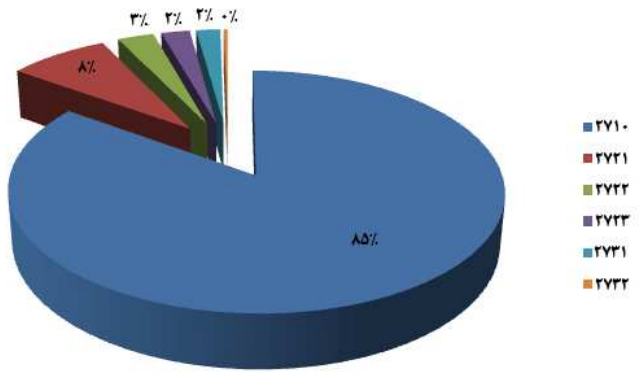
پس از آنکه هزینه اجتماعی گازهای گلخانه‌ای درج شده در جدول شماره‌ی (۱)، به وسیله شاخص CPI تعدیل و مقادیر آلاینده تولید شده هر واحد انواع حامل انرژی مصرفی بخش صنعت به وسیله جدول شماره‌ی (۴) و (۵) محاسبه شدند. با توجه به میزان مصرف سوخت هر کدام از صنایع تولید فلزات اساسی، مقدار آلاینده تولیدی آن صنعت محاسبه گردیده؛ با استفاده از هزینه اجتماعی تحمیل شده هر واحد آلاینده، هزینه کل اجتماعی آلاینده‌های NO_x، SO_2، CO_2، CO، CH_4، و SMP برای محاسبه کارایی زیست‌محیطی هر کدام از صنایع مورد بررسی به صورت جدول شماره‌ی (۶) به‌دست آمدند.

جدول ٤. هزینه کل اجتماعی آلاینده‌های صنایع تولید فلزات اساسی به تفکیک حامل‌های انرژی (ریال)

نوع سوخت (ریال) / کد صنعت (ISIC)	بنزین	نفت سفید	نفت گاز	نفت کوره	گاز مایع	گاز طبیعی	هزینه کل اجتماعی آلاینده‌های هر صنعت
۲۷۱۰	۱۱۰۲۵۱۵۸	۱۰۲۲۵۶۴۷	۷۴۷۹۸۵۸۳	۶۲۸۶۳۷۰۲	۱۰۳۳۶۸۲	۲۲۱۴۷۹۰۰۴۳	۲۳۷۴۷۳۶۸۱۳
۲۷۲۱	۲۶۸۹۲۴۰	۴۳۶۸۵	۲۹۳۲۹۵۷۱	۱۲۵۱۱۹۵۳۲	۵۷۲۱	۶۱۷۴۱۱۵۲	۲۱۸۹۲۸۹۰۱
۲۷۲۲	۲۷۶۸۹۷۵	۹۲۲۸۴۵	۱۷۹۰۳۹۴۰	۶۳۹۴۹۴	۱۹۵۴۲۷۰	۵۵۴۸۰۸۴۲	۷۹۶۷۰۳۶۶
۲۷۲۳	۱۸۸۴۶۴۲	۲۳۵۲۲۷	۲۲۹۴۳۰۳۰	۳۲۷۳۰۱۶۵	۴۱۸۰۵	۴۶۱۳۴۷۴	۶۲۴۴۸۳۴۳
۲۷۳۱	۲۴۸۶۲۷۸	۱۳۶۹۳۶	۱۱۶۶۱۸۶۶	۲۱۹۹۷۵۵۲	۵۱۷۰۶۱	۱۵۷۱۲۳۸۰	۵۲۵۱۲۰۷۳
۲۷۳۲	۴۱۰۲۷۲	۱۸۹۰۲	۲۹۲۸۴۱۴	۱۲۲۹۷۹۷	۱۵۲۲۵۸	۳۲۵۸۱۸۱	۷۹۹۷۸۲۴

منبع: یافته‌های تحقیق

شکل شماره‌ی (۲) نشان می‌دهد که صنعت تولید محصولات اولیه آهن و فولاد (کد ۲۷۱۰) بیشترین سهم را از کل هزینه‌های اجتماعی متحمل شده از صنایع تولید فلزات اساسی، به خود اختصاص داده است.



شکل ۲. سهم هر یک از صنایع از کل هزینه‌های اجتماعی صنایع تولید فلزات اساسی

در ادامه به مقادیر آلاینده تولیدی انواع حامل انرژی مصرفی در صنایع تولید فلزات اساسی (کد ۲۷) پرداخته شده است.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

جدول ۵. مقدار تولید انواع گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از مصرف بنزین (کیلوگرم)

کد صنعت	NO_x	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4
۲۷۱۰	۱۰۲۶۱۸	۱۱۴۱۸	۲۶۶۲۰۷۱	۹۸۴۸	۱۸۰۹۴۸۶۲	۷۱۴
۲۷۲۱	۲۵۰۳۰	۲۷۸۵	۶۴۹۳۲۸	۲۴۰۲	۴۴۱۳۶۷۱	۱۷۴
۲۷۲۲	۲۵۷۷۳	۲۸۶۸	۶۶۸۵۸۱	۲۴۷۳	۴۵۴۴۵۳۵	۱۷۹
۲۷۲۳	۱۷۵۴۲	۱۹۵۲	۴۵۵۰۵۵	۱۶۸۳	۳۰۹۳۱۳۹	۱۲۲
۲۷۳۱	۲۳۱۴۱	۲۵۷۵	۶۰۰۳۲۲	۲۲۲۱	۴۰۸۰۵۶۴	۱۶۱
۲۷۳۲	۳۸۱۹	۴۲۵	۹۹۰۶۲	۳۶۶	۶۷۳۳۵۳	۲۷

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ٦. مقدار تولید انواع گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از مصرف نفت سفید (کیلوگرم)

کد صنعت	NO_x	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4
۲۷۱۰	۳۵۵۱	۵۸۳۳۲	۱۹۰۲۱	۰	۶۳۳۹۳۰۰۷	۲۵۳۶
۲۷۲۱	۱۵	۲۴۹	۸۱	۰	۲۷۰۸۲۱	۱۱
۲۷۲۲	۳۲۰	۵۲۶۴	۱۷۱۷	۰	۵۷۲۱۰۹۹	۲۲۹
۲۷۲۳	۸۲	۱۳۴۲	۴۳۸	۰	۱۴۵۸۲۶۸	۵۸
۲۷۳۱	۴۸	۷۸۱	۲۵۵	۰	۸۴۸۹۲۰	۳۴
۲۷۳۲	۷	۱۰۸	۳۵	۰	۱۱۷۱۸۲	۵

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۷. مقدار تولید انواع گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از مصرف نفت گاز (کیلوگرم)

کد صنعت	NO_x	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4
۲۷۱۰	۴۱۱۶۰۷	۱۲۹۲۴۷۴	۱۶۴۷۶	۱۲۳۴۷۷	۲۳۱۹۶۰۳۵۵	۹۳۹۲
۲۷۲۱	۱۶۱۳۹۷	۵۰۶۷۹۷	۶۴۶۰	۴۸۴۱۷	۹۰۹۵۴۹۰۰	۳۶۸۳
۲۷۲۲	۹۸۵۲۳	۳۰۹۳۶۹	۳۹۴۴	۲۹۵۵۶	۵۵۵۲۲۵۰۰	۲۲۴۸
۲۷۲۳	۱۲۶۲۵۳	۳۹۶۴۴۲	۵۰۵۴	۳۷۸۷۴	۷۱۱۴۹۳۸۶	۲۸۸۱
۲۷۳۱	۶۴۱۷۴	۲۰۱۵۱۰	۲۵۶۹	۱۹۲۵۱	۳۶۱۶۴۹۹۸	۱۴۶۴
۲۷۳۲	۱۶۱۱۵	۵۰۶۰۱	۶۴۵	۴۸۳۴	۹۰۸۱۴۰۲	۳۶۸

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۸. مقدار تولید انواع گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از مصرف نفت کوره (کیلوگرم)

کد صنعت	NO_x	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4
۲۷۱۰	۳۵۷۸۱۹	۱۶۷۹۴۲۶	۱۳۱	۳۵۷۸۴	۱۱۵۵۴۵۲۰۶	۴۴۷۸
۲۷۲۱	۷۱۲۱۷۹	۳۳۴۲۶۱۳	۲۶۱	۷۱۲۲۱	۲۲۹۹۷۳۱۲۷	۸۹۱۳
۲۷۲۲	۳۶۴۰	۱۷۰۸۴	۱	۳۶۴	۱۱۷۵۴۰۸	۴۶
۲۷۲۳	۱۸۶۳۰۰	۸۷۴۳۹۸	۶۸	۱۸۶۳۱	۶۰۱۵۸۹۴۰	۲۳۳۱
۲۷۳۱	۱۲۵۲۱۰	۵۸۷۶۷۳	۴۶	۱۲۵۲۲	۴۰۴۳۲۱۰۳	۱۵۶۷
۲۷۳۲	۷۰۰۰	۳۲۸۵۴	۳	۷۰۰	۲۲۶۰۴۰۰	۸۸

منبع: یافته‌های تحقیق

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

جدول ۹ . مقدار تولید انواع گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از مصرف گاز مایع (کیلوگرم)

کد صنعت	NO_x	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4
۲۷۱۰	۴۷۰۸	۱۸	۳۱۲۱	۰	۷۲۰۰۷۲۳	۱۱۵
۲۷۲۱	۲۶	۰	۱۷	۰	۳۹۸۵۱	۱
۲۷۲۲	۸۹۰۰	۳۳	۵۹۰۰	۰	۱۳۶۱۳۶۲۸	۲۱۷
۲۷۲۳	۱۹۰	۱	۱۲۶	۰	۲۹۱۲۱۷	۵
۲۷۳۱	۲۳۵۵	۹	۱۵۶۱	۰	۳۶۰۱۸۹۴	۵۷
۲۷۳۲	۶۹۳	۳	۴۶۰	۰	۱۰۶۰۶۴۳	۱۷

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۱۰ . مقدار تولید انواع گازهای آلاینده و گلخانه‌ای ناشی از مصرف گاز طبیعی (کیلوگرم)

کد صنعت	NO_x	SO_2	CO	SPM	CO_2	CH_4
۲۷۱۰	۲۲۱۷۸۳۶۴	۴۵۴۵۵	۸۸۱۰۲۰	۱۸۶۵۴۰۰	۱۴۰۰۸۱۹۲۸۴۶	۲۴۹۵۶۹
۲۷۲۱	۶۱۸۲۶۱	۱۲۶۷	۲۴۵۶۰	۵۲۰۰۱	۳۹۰۵۰۲۹۱۳	۶۹۵۷
۲۷۲۲	۵۵۵۵۷۲	۱۱۳۹	۲۲۰۷۰	۴۶۷۲۹	۳۵۰۹۰۷۴۵۱	۶۲۵۲
۲۷۲۳	۴۶۱۹۸	۹۵	۱۸۳۵	۳۸۸۶	۲۹۱۷۹۴۸۶	۵۲۰
۲۷۳۱	۱۵۷۳۴۰	۳۲۲	۶۲۵۰	۱۳۲۳۴	۹۹۳۷۸۲۹۳	۱۷۷۱
۲۷۳۲	۳۲۶۲۷	۶۷	۱۲۹۶	۲۷۴۴	۲۰۶۰۷۴۷۱	۳۶۷

منبع: یافته‌های تحقیق

٦ جمع بندی و نتیجه‌گیری

در این مطالعه ابتدا کارایی فنی و سپس کارایی زیست‌محیطی صنایع تولید فلزات اساسی (کد ۲۷) را مورد بررسی قرار می‌دهیم. صنایع مورد بررسی به ترتیب کدهای ISIC و به صورت کدهای چهار رقمی عبارتند از: صنایع تولید فلزات اساسی (کد ۲۷)، تولید محصولات اولیه آهن و فولاد (کد ۲۷۱۰)، تولید محصولات اساسی مس (کد ۲۷۲۱)، تولید محصولات اساسی آلومینیومی (کد ۲۷۲۲)، تولید فلزات گران‌بها و سایر محصولات اساسی به‌جز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم (کد ۲۷۲۳)، ریخته گری آهن و فولاد (کد ۲۷۳۱) و ریخته گری فلزات غیر آهنی (کد ۲۷۳۲).

برای ارزیابی کارایی فنی از رویکرد SBM استفاده شده است. این مدل غیر خطی به وسیله نرم افزار GAMS قابل محاسبه می‌باشد. داده‌های این مطالعه حاصل آمارگیری کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر است. داده‌ها و نتایج حاصل شده از محاسبه کارایی فنی به صورت جدول شماره‌ی (۱۱) بیان شده است.

جدول ۱۱. مقادیر داده‌ها و کارایی صنایع تولید فلزات اساسی

کد	تولید (میلیون ریال)	موجودی سرمایه (میلیون ریال)	انرژی (میلیون ریال)	نیروی کار (نفر)	کارایی
۲۷۱۰	۱۱۸۵۹۸۱۶۲	۶۹۶۴۵۱۰۰	۳۰۵۸۹۹۵	۴۷۴۷۴	۱
۲۷۲۱	۲۱۸۹۷۱۷۴	۴۷۹۹۴۳۲	۲۸۶۷۰۵	۵۳۶۳	۱
۲۷۲۲	۹۴۰۱۰۲۵	۹۲۰۶۶۵۸	۷۹۵۸۹۳	۸۰۵۲	۱

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

کد	تولید (میلیون ریال)	موجودی سرمایه (میلیون ریال)	انرژی (میلیون ریال)	نیروی کار (نفر)	کارایی
۲۷۲۳	۴۳۰۴۶۰۲	۱۶۲۷۰۶۹	۱۲۶۸۶۸	۴۲۷۶	۱
۲۷۳۱	۴۳۴۱۰۲۳	۳۲۱۱۷۲۲	۱۲۲۱۳۸	۱۱۹۰۲	۰/۷۵
۲۷۳۲	۹۳۲۳۱۹	۷۴۲۹۷۱	۲۵۹۹۵	۲۰۶۰	۰/۷۸

منبع: یافته‌های تحقیق

پس از اندازه‌گیری کارایی فنی به محاسبه کارایی زیست‌محیطی می‌پردازیم. برای ارزیابی کارایی زیست‌محیطی علاوه بر داده‌های فوق، از داده‌های هزینه‌های اجتماعی بخش انرژی به تفکیک گاز آلاینده و همچنین میزان انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای بخش صنعت که از بخش انرژی و محیط زیست ترازنامه انرژی ، به‌دست آمده، استفاده شده است. برای اندازه گیری کارایی زیست‌محیطی از رویکرد تابع فاصله تولید جهت‌دار یا DDOF استفاده گردیده. در جدول شماره‌ی (۱۲) داده‌ها مورد استفاده و کارایی زیست‌محیطی به‌دست آمده درج شده‌اند.

جدول ۱۲. مقادیر داده‌ها و کارایی زیست‌محیطی صنایع تولید فلزات اساسی (میلیون ریال)

کد صنعت	تولید	تولید آلاینده	موجودی سرمایه	انرژی	نیروی کار (نفر)	میزان کارایی
۲۷۱۰	۱۱۸۵۹۸۱۶۲	۲۳۷۵	۶۹۶۴۵۱۰۰	۳۰۵۸۹۹۵	۴۷۴۷۴	۰/۷۴۶
۲۷۲۱	۲۱۸۹۷۱۷۴	۲۱۹	۴۷۹۹۴۳۲	۲۸۶۷۰۵	۵۳۶۳	۱
۲۷۲۲	۹۴۰۱۰۲۵	۸۰	۹۲۰۶۶۵۸	۷۹۵۸۹۳	۸۰۵۲	۱
۲۷۲۳	۴۳۰۴۶۰۲	۶۲	۱۶۲۷۰۶۹	۱۲۶۸۶۸	۴۲۷۶	۰/۸۳۶
۲۷۳۱	۴۳۴۱۰۲۳	۵۳	۳۲۱۱۷۲۲	۱۲۲۱۳۸	۱۱۹۰۲	۰/۸۷
۲۷۳۲	۹۳۲۳۱۹	۸	۷۴۲۹۷۱	۲۵۹۹۵	۲۰۶۰	۱

منبع: یافته‌های تحقیق

از جدول‌های شماره (۱۱) و (۱۲) نتیجه می‌شود که صنایع تولید محصولات اساسی مس (کد ۲۷۲۱) و تولید محصولات اساسی آلومینیومی (کد ۲۷۲۲) هم از نظر کارایی زیست‌محیطی و کارایی فنی ساده کارآمد هستند. همچنین برخی از صنایع، مانند صنعت تولید محصولات اولیه آهن و فولاد (کد ۲۷۱۰) و تولید فلزات گران‌بها و سایر محصولات اساسی (کد ۲۷۲۳) که از لحاظ فنی کارآمد هستند؛ از لحاظ زیست‌محیطی ناکارا عمل می‌کنند.

منابع

[۱] پرمن، ر.، ما، ی. و مک گیل ری، ج.، (۱۳۸۷). اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی، ترجمه: ح. ارباب، تهران، انتشارات نشر نی، چاپ دوم.

[۲] صادقی، ح.، فراهانی فرد س.، (۱۳۸۲). محیط زیست از منظر دین و اقتصاد، فصلنامه اقتصاد اسلامی، شماره ۱۰.

[۳] عباس پور، م.، (۱۳۸۹) مهندسی محیط زیست جلد دوم، تهران، معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی.

[۱۳] دریجانی ع. و همکاران، (۱۳۸۴). برآورد کارایی زیست‌محیطی با استفاده از تحلیل مرز تصادفی (مطالعه موردی کشتارگاه‌های دام استان تهران)، مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه، شماره ۵۱، صفحات ۱۴۵-۱۱۳.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[۱۴] نصراللهی، ز.، غفاری گلوک، م.، (۱۳۸۹). آلودگی هوا و عوامل موثر بر آن (مطالعه موردی انتشار SPM و SO2 در صنایع تولیدی ایران)، فصلنامه پژوهشی اقتصادی، سال دهم، شماره سوم، صفحه ۹۸-۷۵.

[۱۵] آماده، ح.، رضایی، ع.، (۱۳۹۰). اندازه‌گیری کارایی زیست محیطی با استفاده از مدل کارایی سراسری ستانده مطلوب و نامطلوب تفکیک ناپذیری سراسری در بخش تولید انرژی الکتریکی شرکت‌های برق منطقه‌ای، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هشتم، شماره ۳۰، صفحات ۱۵۴-۱۲۵.

[۱۷] عبادی، س.، (۱۳۹۰). روشی برای رتبه بندی نمرات کارایی با استفاده از بوت‌استرپ، مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۸(۲)، ۴۴-۲۹.

[۱۹] دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی (۱۳۸۸). ترازنامه انرژی، تهران، وزارت نیرو.

[4] Pigou, A. C., (1962). The Economics of Welfare, London, Macmillan, 876.

[5] Pittman, R., (1983). Multilateral Productivity Comparisons with Undesirable Outputs. The Economic Journal, 93, 883-891.

[6] Färe, R., Grosskopf, S., et al., (1989). Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach. The review of Economics and Statistics, 71(1): 90-98.

[7] Chambers, R. G., Chung, Y., Färe, R., (1998). Profit, directional distance functions, and Nerlovian efficiency. Journal of Optimization Theory and Applications, 98(2), 351-364.

[8] Chung, Y. H., Färe, R., Grosskopf, S., (1997). Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach. Journal of Environmental Management, 51(3), 229-240.

[9] Kwon, O. S., Yun, W. C., (1999). Estimation of marginal abatement costs of airborne pollutants in Korea's power generation sector, Energy Economics, 21: 547-560.

[10] Kwon, O. S., Yun, W. C., et al. (2005). Market value for thermal energy of cogeneration:: using shadow price estimation applied to cogeneration systems in Korea. Energy policy, 33(14): 1789-1795.

[11] Murty, M., Kumar, S., et al. (2006). Environmental regulation, productive efficiency and cost of pollution abatement: a case study of the sugar industry in India. Journal of environmental management, 79(1): 1-9.

[12] Murty, M. N., Kumar, S., et al., (2007). Measuring environmental efficiency of industry: a case study of thermal power generation in India. Environmental and Resource Economics, 38(1): 31-50.

[16] Tone, K., (1997). Several algorithms to determine multipliers for use in cone-ratio envelopment approaches to efficiency evaluations in DEA. Computational Approaches to Economic Problems, Springer: 91-109.

[18] Färe, R., Primont, D., (1995). Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications. Boston: Kluwer Academic Publishers.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]